



如何应用PICOSTRAIN 测量原理轻松实现数字传感器

2010年3月
Document-No.：WP_004_cn V1.0



PICOSTRAIN®

前言

在过去的几十年当中,数字传感器仅为一个概念性的产品。这是由于数字传感器的独特性以及其价格昂贵所致。而且应用数字传感器可以获得利益的应用也是极为有限的。

而相对的模拟传感器在目前来说还是应用最为广泛的。虽然模拟传感器在生产的过程中还需要对一些方面进行努力,比如gain和offset的温度偏移的调整, 但是其生产工艺是非常熟知而且是经过很长时间验证的。这也是为什么绝大多数衡器是应用模拟传感器所设计的,而且这些衡器的生产数量也是相当惊人。

其实,如今建立一个数字传感器与生产普通的模拟传感器几乎相同,只不过在传感器上又实现了另一个功能: 将测量结果数字化。换句话说,需要将电路部分,包括转换器和控制器在内集成到传感器上面。对于标定来说,传感器的参数调整是在电路部分来进行的。那么之后将电路部分和传感器部分合并在一起,那么整体的误差必须要满足衡器度量标准例如 OIML[1]。在生产中的试验证实,达到这样的要求需要进行非常大的人工调整工作,另外还需要进行加载，真实的进行测试（比如温度漂移试验）来验证是否满足标准。你可以想象在这种情况下对于自动化生产以及质量提升,可靠性提升,加速生产等空间已经非常小了。换句话讲,应用标准的传感器生产流程对于数字传感器来说相比较模拟传感器并没有多大的利益空间。

PICOSTRAIN 测量技术则引进了新的可能性 – 基于现有的生产工艺 – 可以带来如下优势:

- 一个简单更加有效率的可靠的生产工艺
- 新式的调整可以带来更高的质量.这种新的调整可以帮助传感器更加轻松实现OIML 6000分度
- 一个全自动化的对于零点和增益误差的温度补偿,无需进行手动的调整

通过这种测量原理,节省了工时以及生产费用,那么使得数字传感器有可能为传感器的生产和设计无论从商业角度还是从技术角度都将打开一个新的篇章!

这个技术白皮书首先描述了模拟传感器以及数字传感器当今的一些情况,以及他们的一些潜在优势和一些限制。之后， 本文解释了如何应用PICOSTRAIN 测量原

1 OIML = Organisation Internationale de Métrologie Légale,为一个国际度量学组织机构，制定了的国际度量标准和规则。请参考www.oiml.org 获得更多的信息。





前言

理, 以及这种测量原理在实现数字传感器方面的一些优势。一个非常好的实际例子就是在本文最后的章节给出了应用这种测量原理所建立数字传感器原型的测试结果。

作者: Augustin Braun, Ralf Emberger






PICOSTRAIN®





目录





现今的情况:

到目前为止数字传感器还依然是一个比较特殊的概念性产品。有满足 C3 和 C6的传感器种类,也有普通的数字传感器。当多个传感器由单一的控制器进行操作时,典型的应用一般是导线较长的应用 (数字信号的传输要优于模拟信号的传输),比如汽车衡或者电磁干扰很强的环境。

- 在这个情况下数字传感器的优势可以概括为如下几点:
- 可以应用较长的导线而不损失信号强度
- 可以通过单一的处理器来控制不同的数字传感器
- 对于EMI电磁干扰将会比较不敏感
- 进行更换无需再校准,因为传感器已经校准完成

为了获得更细节的信息,到底什么是数字传感器以及它的概念到底是什么,我们来看一下现今数字传感器的基本set-up。在介绍章节所提到的,数字传感器主要是由传感器本身以及带有数模转换和单片机的电路部分所组成:

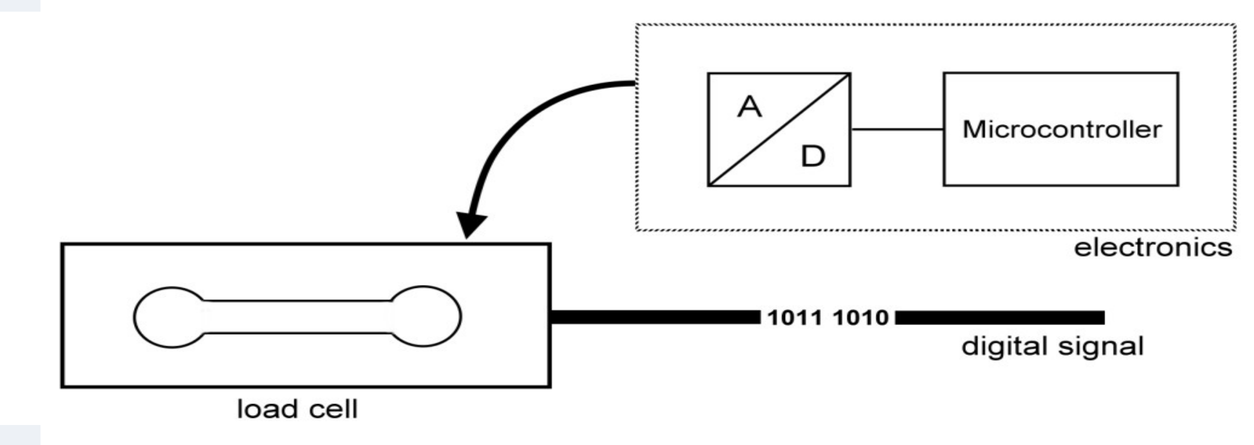


图. 1: 现今数字传感器的 set-up

在传感器应变片上所产生的信号将会给到电路处理部分。这里一个数模A/D 转换器将模拟信号转换成数字信号然后给到单片机或者DSP系统中。那么单片机将会对粗值数据进行处理,对数据进行线性,滤波,迟滞等处理。最终给出一个数字测量结果。

尽管数字传感器的概念对于一些应用来说是比较适合,但是对于取代模拟传感器来说还是有相当大的困难的。主要的原因是由于数字传感器的制造非常特殊,另外制造的成本非常昂贵。这使数字传感器非常难实现大批量的生产以及高质量高





现今的情况:

稳定性,结果就是数字传感器的应用数量在非常缓慢的增长。

但是是什么原因使生产自动化以及降低生产成本如此艰难?

-- 当然,你可以想象很多主要的障碍是在对于传感器的调整,让其满足度量衡器标准的工作,尤其是调整其温度漂移的方面。现在的数字传感器主要需要解决的问题有如下:

分别安装以及装配传感器和电路

分别标定传感器和电路部分,那么整体的误差需要满足度量标准

对于温度的增益和零点误差的补偿需要花费很大的精力

手动的调整传感器的调整电阻是非常繁琐的手工工作

对于温度的测试来说会耗费相当长的时间



上面的这些限制说明了对于传感器的自动化生产来说空间已经非常小,因为有很多工作需要通过手工来完成。从商业的角度上来讲我们可以了解到在现今的工艺流程上手工的造价是相当高的,因此对于数字传感器的生产制造价格由于比较高,其在市场的应用比率还是非常有限。

那么这个就是PICOSTRAIN测量原理为什么能够引入数字传感器的设计方面的地方。我们认为PICOSTRAIN测量原理对于两个方面都会有提升 – 技术方面和商业方面 – 我们的测量技术提供了可以更加有效生产制造传感器的可能性,因此可以使生产过程更加快速和廉价。另外,测量的质量和稳定性更高的更加自动化的生产制造过程可以被实现。

在下面的章节中我们将会阐述PICOSTRAIN技术是如何工作的,另外如何将这种测量技术应用于数字传感器的生产自造当中。











1. PICOSTRAIN 测量原理

德国acam公司为高精度测量时间方面的专家。基于这种时间测量的方法,可以通过仅以微安μA级别的功耗来测量应变传感器或者测量达到高精度20万显示分度(峰-峰)。PICOSTRAIN这种测量原理的主要优势就是实现高精度和低功耗应变测量。

PICOSTRAIN 应用最新的测量方式相比较A/D 数模转换器来说提供了更加显著的测量优点。电阻比率的变化是通过时间变化来反映的,而非数模转换的电压变化。这个时间间隔的变化通过高精度低噪声的时间单元测量反映出来。

应变传感器电阻与一个电容组成了一个RC低通滤波 (RC 网路)。电容首先被充电到电源电压,然后断开，通过应变电阻进行放电。放电到一个比较器阈值电压的时间被TDC(时间数字转换器)精确的记录下来。一般来说,这个放电时间的范围在30到140微秒,另外测量时间的精度PS081芯片是在15ps左右(PICOSTRAIN系列产品的最新一代）,通过平均的方式甚至可以达到飞秒级别。

两个传感器电阻是以交错的方式分别对同一个电容进行放电的。由于是计算的比率,因此电容的绝对容值以及比较器的触发噪声是被消除的。另外还有从输入电阻带来的(Rdson) 噪声或者比较器延迟带来的噪声也被PS081的专利电路和算法所消除。那么最终的结果是对于温度以及增益误差非常稳定的结果。

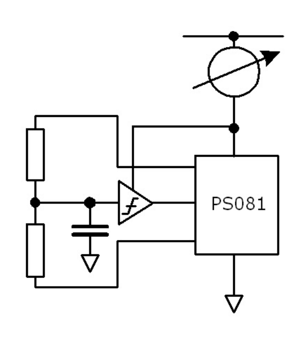


图. 2: 简化的 PS081测量原理图

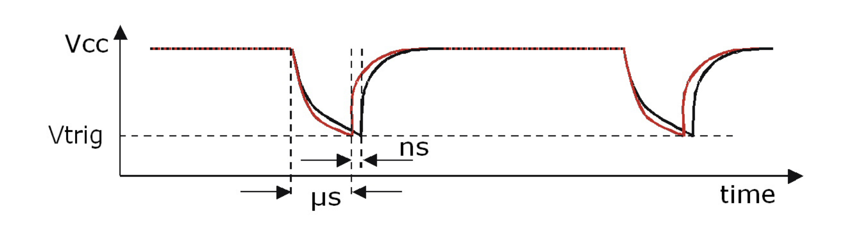


图. 3: 放电时间的比率测量相当于电阻的比率测量

1. PICOSTRAIN 测量原理

PICOSTRAIN 并不需要一个全桥。虽然也可以测量全桥,但是由于PICOSTRAIN的测量原理,一个半桥的测量就已经足以。绝大多数的应变传感器的桥臂都是由2个半桥组成的。那么PICOSTRAIN测量的最佳结果也是通过两个半桥所测量获得 (将惠斯通电桥„分离 “),我们称这种全桥方式为 'PICOSTRAIN 桥接'。这个传感器的电阻是直接接到转换器的测量端口的,无需再分别对传感器进行供电。感谢这种脉冲式的测量原理可以使整个测量的功耗相比较 A/D-数模转换器能够降到一个相当低的水平。

通过PS081我们可以根据测量精度,测量功耗以及测量速度来实现不同的要求:当进行正确设置的情况下整个衡器的测量功耗可以降到最低15 µA (2,000 分度 1mV/V 灵敏度以及 3 Hz 输出的时候)。这样的测量功耗是可以实现的,传感器是直接被芯片进行测量,另外测量的频率被降低，而且传感器的自热现象也将被大大降低,大多数时间为零自热现象。

对于2 mV/V 灵敏度 (应变电阻普通的灵敏度) 以及5 Hz输出频率而言。PS081所能够实现的最大精度为最高大约20 位有效精度 (1百万内码精度!!) 如果相对于整个电阻阻值来说,这相当于29位测量精度。PS081的最大测量输出频率为1000Hz。一般来说， 设置参数,测量功耗,测量精度和输出频率是相互影响相互关联的， 是需要根据应用通过配置来进行调整和适应的。





2. PICOSTRAIN测量原理如何使生产更加容易？

由于PICOSTRAIN测量原理使很多技术方面都获得了优化，例如传感器的温度增益和零点漂移的补偿，以及单芯片集成电路的紧密特性，包括了转换器和一个24位的单片机。当然简单的介绍技术特性并不能解释为什么PICOSTRAIN会在数字传感器的生产中非常有帮助，为了能够了解这个特性，我们来看一下这些技术特性如何使数字传感器的生产获益。

2.1 温度补偿

在衡器称重应用当中非常重要的一点就是需要满足温度偏移的要求。传感器和电路部分都分别需要满足特定的标准，一般来说最终的结合产品也需要满足相应标准。在现在的技术中电路部分满足度量标准并不是非常困难，但是最主要的是让传感器也满足测量的要求. 一般来说都需要通过调节电阻进行手动调节来满足测量标准。

如果我们来看一下3000和6000分度的OIML[3] 标准对于数字传感器[2]是如何规定的，那么具体的要求如下:

增益gain偏移:

分度值:	偏移[ppm]	偏移 [ppm/K]	传感器的偏移 (70%) [ppm/K]	电路部分的偏移 (50%) [ppm/K]
3000	400	13.33	9.33	6.67
6000	200	6.67	4.67	2.34

OIML 规定了整秤的最大增益偏移在最大30° C的变化不能超过1.5个分度，这个要求是对于整个温度限制范围-10° C 到 +40° C而言。

2 OIML R 76-1, 非自动衡器称重仪表的度量学以及技术要求。2006年版, 可以在如下连接下载 <http://www.oiml.org/publications/>, 在 02-February-2010获取
.

3 对于衡器模块来说误差的综合一般来说应该 = 1 (100%) 而对于数字传感器来说一般为 0.8 (80%) , 在OIML R 76-1的 第36页。因此在表格中给出的数据可以相应的进行调整。



2. PICOSTRAIN测量原理如何使生产更加容易？

零点offset偏移:

分度值:	偏移[nV/K]@3.6V 激励电压	偏移 [ppm/K]	传感器的偏移 (70%) [ppm/K]	电路部分偏移 (50%) [ppm/K]
3000	384	53.33	37.33	26.67
6000	192	26.67	18.67	9.33

OIML规定了整秤的零点偏移在没有进行零点跟踪的情况下在 5° C度的温度变化情况下不能够超过1个分度。计算的数值单位为nV/K 是相对于 3.6V 供电电压以及全桥2mV/V灵敏度而言的。

那么总结总体的结果是以平方的形式给出的,那么每个部分的误差需要小于1,对于数字传感器来说就需要小于 0.8。
数学公式推导的结果:

$$p1^2 + p2^2 + p3^2 + ... \leqslant 0.8$$

那么每个部分的误差是这样规定的,传感器部分电路部分 (50%) 连接传感器和电路的元件 (50%)。每个部分的误差都是综合考虑到从非线性度,迟滞,温度偏移等方面的影响。
出处: OIML R76-1, 页36ff

重要: 很明显对于传感器部分的要求仅比电路部分的要求高一点,但是对于一个传感器来说获得好的温度偏移特性要比电路部分困难很多。为了实现传感器部分的增益误差<10ppm/K和零点偏移 <30ppm/K 需要在传感器上进行非常大的调整,控制温度特性满足要求。

今天对于温度的调整都是分别进行的,一般来说都是在传感器部分进行调整。同时在电路部分的调节主要是选择数模A/D转换器直接可以满足增益和零点的偏移。而对于传感器的调整则显得比较复杂。为了调整增益误差,增加了2个补偿电阻

2. PICOSTRAIN测量原理如何使生产更加容易？

(Rspan)，为了调整零点偏移增加了一个或者2个零点补偿电阻。一个经过补偿的传感器连接一般如下所示:

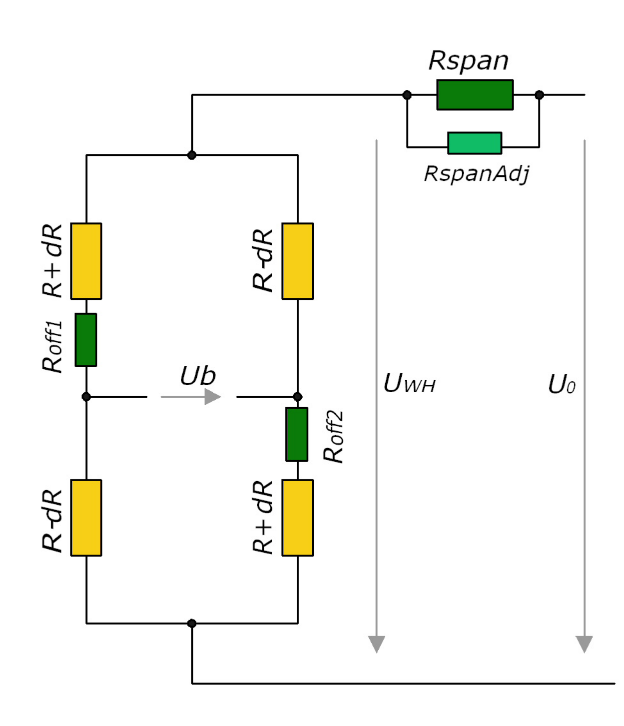


图. 4: 带有补偿电阻的经典惠斯通电桥

对于Rspan和Roff电阻的尺寸仅可以在开始的时候进行预估补偿。在进行了温度试验之后，那么纠正过的Rspan和Roff将会被放置到传感器上。这些调整是通过制造商对于传感器的经验和知识进行手工的调节的。有的时候一般需要多次温度测量来获得正确的满意的结果。

另一种表达方式来讲:
今天的传感器的温度增益和零点偏移补偿方法是一个复杂的根据经验手工调整的过程





2. PICOSTRAIN测量原理如何使生产更加容易？

而对于PICOSTRAIN测量原理来讲温度补偿的方法是通过其他的方式实现的。尽管这种方法也应用了现有的Rspan 作为温度补偿电阻，所有其他的调整电阻 (Rspa-nAdj 和 Roff) 将不再需要[4]。为什么会这样呢? – 如果希望了解PICOSTRAIN 的温度补偿方法，我们首先需要将传感器应变电阻的连接进行如下修改：

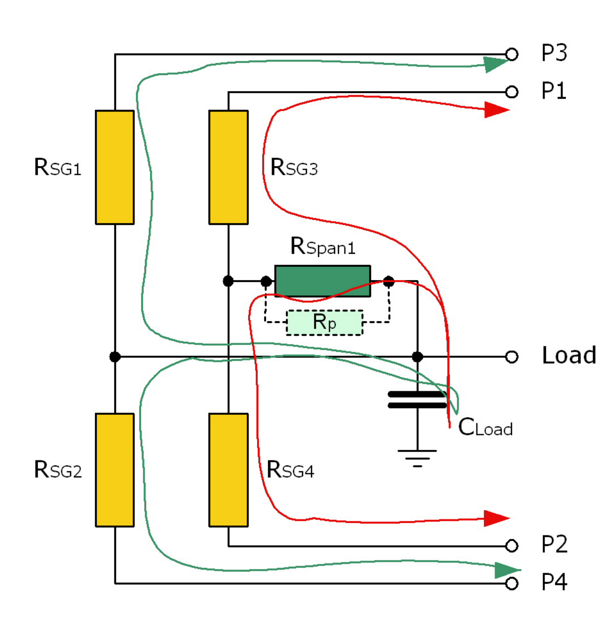


图. 5: 传感器的PICOSTRAIN连接方式

PICOSTRAIN测量原理的基本就是传感器电阻对于一个电容(Cload)进行放电，然后记录放电的时间。那么将传感器连接成两个半桥，另外Rspan电阻连接到中间的一个半桥上，组成了我们所称的PIOCOSTRAIN全桥连接。非常容易可以想象对于每个半桥的应变电阻进行放电，那么芯片内部就可以计算出当包括Rspan电阻的路径的时间，那么就可以将Rspan电阻的时间变化计算获得。

2. How does PICOSTRAIN make the production easier?

那么这个原理如下图所示比较清晰:

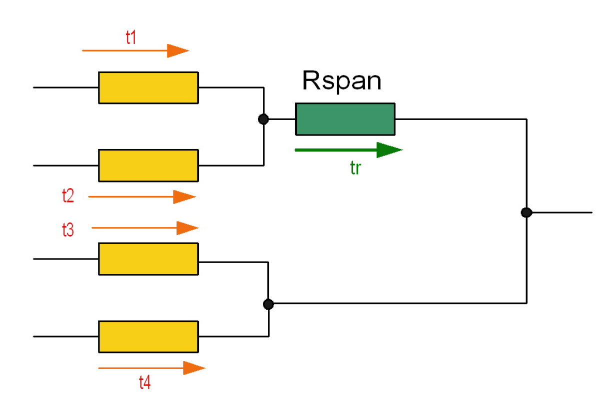


图. 6: 确定Rspan电阻放电的路径的时间

PIOCSTRAIN测量芯片相比较AD数模转换芯片对于惠斯通电桥的信息来说,还可以获取更多的对于每一个应变电阻的测量信息。而惠斯通电桥仅测量了桥臂的电压差。用这个'更加详细的信息' PICOSTRAIN测量芯片可以给Rspan电阻以软件的方式加系数,另外可以知道两个桥臂的offset零点偏移值是多少。在这一点上,对于带有转换器和单片机的单芯片方案来说是非常有优势的,它可以处理所需的计算,比如在这里将offset的值减去。

为了调整增益和零点偏移,需要仅一次的温度试验来找出相应的系数。由于无需进行手工调整,那么这个调整过程可以在最终生产好传感器之后进行。调整的过程需要很少的时间,另外也非常精确。如何获得纠正系数,以及能够实现什么样的测量结果,请参考我们的技术白皮书 **#002 „如何降低传感器的增益和零点偏移“**。

总结:
在PICOSTRAIN测量原理当中温度的补偿是通过其他方法实现的。它减少了元件的需求另外使补偿调整变得简单和快速。而且仅需要进行1次温度测试就可以完成温度系数的获取。另外,整个调整的过程是自动进行。



2. PICOSTRAIN测量原理如何使生产更加容易？

2.1.1 温度补偿电阻 Rspan

PICOSTRAIN仅需要一个Rspan补偿电阻。由于PICOSTRAIN系列产品的共模抑制比(CMRR) 接近于无限 (高达135dB !), 因此不需要在两个桥臂都加Rspan补偿电阻。实际上, PICOSTRAIN原理也并不能处理带有两个Rspan电阻的桥臂。尽管如此, 有方法可以将桥臂上的两个Rspan补偿电阻连接成1个或者短路其中一个来做初期测试。

总的来说,应用Rspan补偿电阻是获得好的温度增益和零点偏移补偿的传感器的强大方法。对于一个350欧姆的传感器一般Rspan的范围在39欧姆到47欧姆，而对于1k欧姆的应变传感器，范围则在100欧姆到120欧姆之间。在实际应用中可以选择一个粗略的固定Rspan电阻值来补偿灵敏度的温度变化。精确的调整是由另一个并联在Rspan电阻上的电阻(RSpanAdj) 完成的。这个电阻一般来说会被放置在传感器前端的连接面板上。这样的手动调整在PICOSTRAIN当中则不需要了。我们可以给Rspan加系数让其在很大范围内变动，这样可以非常精确的将其调整到理想的数值。

请注意: Rspan的乘法系数(叫做TKGain) 可以从0.0 到7.99 调整，以24位的形式精确调整。

例: 通过TKGain系数你可以将39欧姆的电阻加乘法系数调整到 从0.0Ω 到312Ω，最小调整的数值为0.59 mΩ。一个绝对高精度的0.01%的电阻最小调整也是3.9mOhm,远远不及我们应用TKGain系数所能够调整的精度。

Rspan电阻一般被放在传感器上面来获得传感器壳体温度的最大信息。这样的情况下，Rspan可以有一个非常快速和准确的对于温度的反映。而在数字传感器当中Rspan电阻可以放置在其它地方。它可以放在电路部分的PCB连接端，由于电路部分是直接放在传感器体内，因此这种放置方式是完全可以获得非常详细的温度信息的。因为不需要对Rspan电阻进行机械的调整，那么你可以选择一个大致的数值之后通过PICOSTRAIN来进行调节。另外，Rspan电阻可以选择标准的镍电阻或者铂电阻带有标准的外壳，比如SMD603。通过这个方法可以降低成本，另外可以简化传感器的set up。传感器上的应变电阻并没有改变，而且PICOSTRAIN的调整原理也没有改变，只要有Rspan，无论它放置在什么位置，都可以进行校准测量。



PICOSTRAIN®



2. PICOSTRAIN测量原理如何使生产更加容易？

当然如果将Rspan放置在传感器壳体内的效果是最好的。另外OIML的要求并不是针对热传导的快速反应的（一般来说稳定时间需要2小时以上!）因此这样的方法完全可以降低满足OIML要求的传感器（C3）的生产成本。

2.1.2 温度增益偏移的非线性

与PICOSTRAIN的增益补偿无关,传感器本身对于温度来说都会有非线性偏移。这个非线性主要由两个因素引起,一个是传感器本身的非线性(材料,胶,连线等) 另一个则是从与Rspan并联的调整电阻(RSpanAdj)产生。一般来说这两个非线性的效果是正好相反的,那么总体的非线性是被相互抵消的。那么也就是说,加上这个并联电阻实际上是补偿了传感器本身带来的非线性。下面的图表说明了这个效应:



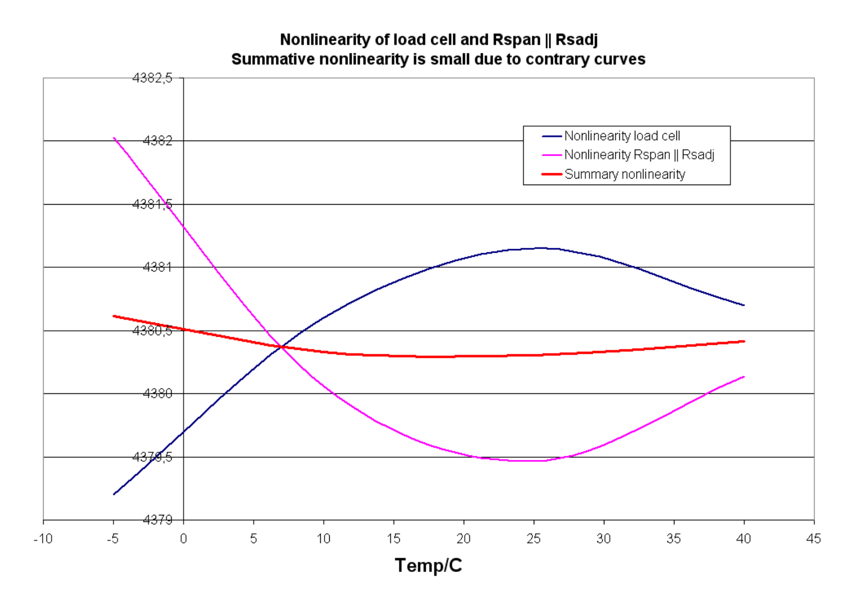


图 7: 传感器的非线性



2. PICOSTRAIN测量原理如何使生产更加容易？

如果调整电阻(RSpanAdj) 本身就不存在的话，那么传感器本身的非线性则不能被相应的补偿掉。在PICOSTRAIN连接方式中，仅需要一个Rspan电阻，不需要任何调整电阻，因此这个电阻是不需要的。这对于自身的非线性很低的传感器是没有任何问题的。但是如果传感器自身的非线性度不可以被忽略，那么有可能需要加一个并联电阻来满足要求。**请注意,并联这个电阻(Rp)并不是为了改变Rspan的电阻阻值,而是补偿传感器本身的非线性。**

如果需要在传感器的Rspan电阻加这样的并联电阻来补偿传感器的非线性，那么可以加一个固定电阻Rp，这个电阻可以是普通的金属薄膜SMD电阻。对于这个电阻的放置如下所示：

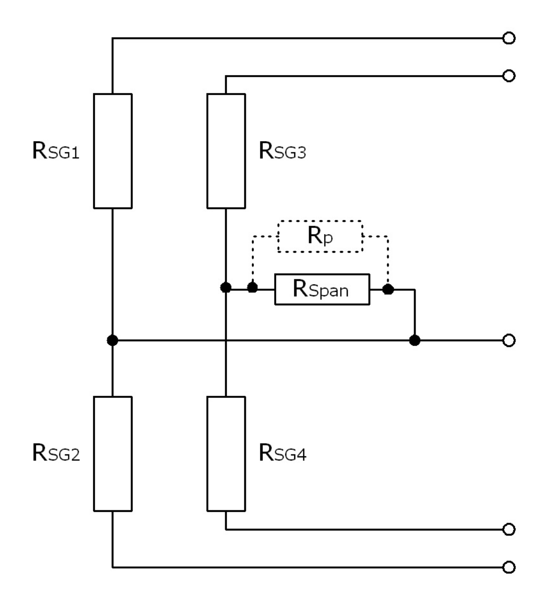


图. 8: PICOSTRAIN 全桥带有Rspan和并联电阻Rp

另外详细的对于何时必须加Rp电阻以及如何确定正确的数值，在技术白皮书**#002 "如何降低传感器的增益和零点误差 “当中有描述**



2.2 安装和装配

对于如此简单的实现温度补偿的另一个优点就是简化了装配的工作。实际上这种方法让我们改变了生产的工作流程。主要因为电路的PCB是安装在传感器上面的，而标定工作是对于整个传感器加电路单元来执行的。这个优势并不仅仅是简化了标定的步骤，而且还使装配自动化成为可能。由于不需要再进行手动的调节，那么这个装配可以在一次单一的温度试验后完成。这将会使整个流程提升到另外一个等级。

现今典型的生产流程如下:

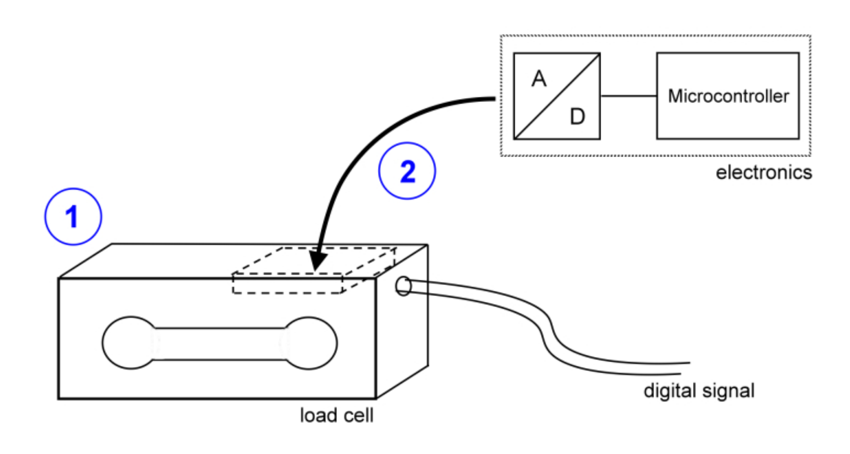


图. 9: 现今的工作流程, 至少需要2个步骤



① – 手动校准传感器
② – 将传电路部分放入传感器然后再进行Span的标定

由于手动来调整校准传感器，那么调整传感器的质量需要付出比较大的工作量。在校准传感器之后，电路PCB放到传感器当中再进行最终的校准工作。这样对于自动化生产来说提升的空间是非常小的。

2. PICOSTRAIN测量原理如何使生产更加容易？

PICOSTRAIN 的工作原理是不同的 – 首先将电路部分安装到传感器上然后整个标定过程仅对于整个单元进行一次。这个方法，可以节省处理的步骤而且使调整更加简单。下面的图显示了新的工作流程:

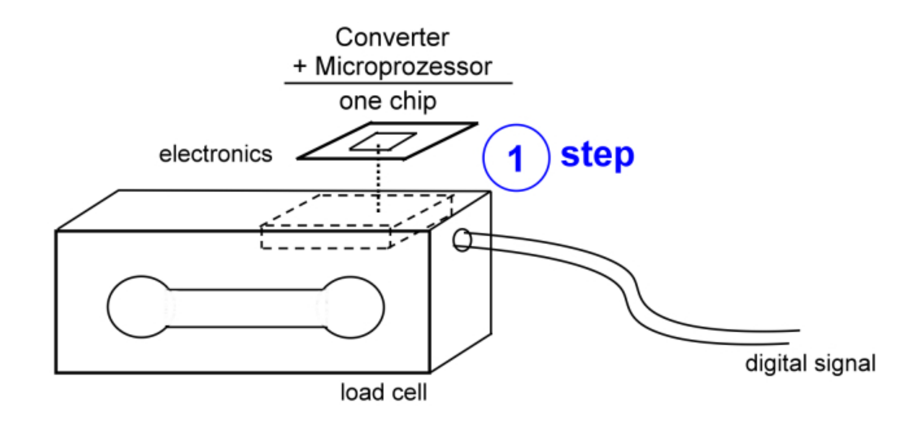


图. 10: 对于PICOSTRAIN工作原理来说仅一步的工作流程是可能的

这种优势主要受益于我们的转换器和单片机是集成在一起的，并不是分开的。另外，芯片的尺寸非常小，裸片尺寸仅为 3.47x2.37mm 或者封装片尺寸为 QFN56 7x7mm. 因此我们可以设计一个非常紧凑的PCB带有非常少的元件，那么整个PCB尺寸可以做的非常小。

总结来说，对于这种新的简单的测量方式有如下优势:

- 所有的标定在最后自动进行1次
- 代替4-6个调整电阻，仅需要1个补偿 (Rspan)电阻
- 传感器可以在调整之前完全进行装配
- 增益和零点的温度偏移完全满足OIML的标准

尤其后者带来的意义更加重大，可以允许对于整个系统进行再调整 – 每一个元件在无需额外进行调整的情况下可以都可以满足增益和零点偏移的要求 – 使整

2. PICOSTRAIN测量原理如何使生产更加容易？

个系统拥有一个超低的零点和增益的温度偏移。用简单的话讲PICOSTRAIN测量方法将带给您的是自动化的增益和零点调整，而且调整的结果完全满足OIML6000的标准。作为数字传感器，下面的数据可以被实现(完整单元)：

增益偏移：2ppm/K => 比OIML 6000要好1.7倍
零点偏移：5ppm/K 或者 35nV/K （在 3.6V） 比OIML 6000要好5.5倍



结论：
由于应用了不同方式的温度补偿方法，整个传感器单元可以在进行校正之前完整装配。这将会提高自动化的程度以及便于调整方法。温度试验所需要的次数也被减少，可以降低和优化整个工作流程。相应而来的是质量随之又可以进一步提升，传感器的增益和零点偏移可以被非常显著的提高。





3. 通过PICOSTRAIN原理建立数字传感器的优势

在之前的章节所描述的优点给数字传感器的制造带来非常大的优势。在这一章节我们希望不仅从技术的角度而且从商务的角度来阐述一下对于PICOSTRAIN实现数字传感器的长期的考虑。

3.1 通过简化生产来降低成本

由于引入新的工作流程可以将成本大大的降低。除了直接成本上的获益 – 例如单芯片代替两个元件 - 还引入了一些间接降低成本的方面。在下面的一些情况下有可能还可以降低成本:

- 减少了所用元件的数量，降低了应用材料的成本（BOM）
- 更加紧密的PCB尺寸
- 缩减了标定工序
- 软件补偿温度，省下了对于传感器手动调整的工序
- 由于生产流程的改变节省了(生产制造的)时间
- 在无额外费用增加情况下提高了测量质量和测量的可靠性（通过满足OIML3000得传感器来达到OIML6000的标准！）

当然改变工作流程在开始阶段会引入一些前期工作。但是新的生产流程给生产制造带来非常大的益处,那么纵观整个生产制造成本,生产流程的改变将会更加有效和节约。

请参看在附录中我们所建立原型的元件单(BOM) 以及我们设计的相应PCB的紧凑特性。

3.2 标定

对于标定来说主要带来的优点就是整个传感器元件(传感器 + 电路部分)可以仅进行一次标定而不是两次不同的标定。详细信息请参考之前的章节 --> 2.1 温度补偿以及 2.2 安装和装配。因此标定的过程可以比之前要快很多。另外还可以将生产流程更加自动化节约了生产时间。



3. 通过PICOSTRAIN原理建立数字传感器的优势

另一个对于传感器直接标定带来的优势就是:使传感器更换更加方便。由于传感器是在生产过程中进行标定好的,那么在实际环境中无需再进行一次标定工作。数字传感器可以非常容易的进行更换,标定是在之前就已经做好的。更换的方便性在现今的客户需求当中扮演了越来越重要的角色。

3.3 低功耗

低功耗测量并不是在所有的数字传感器上面都有需求,但是在有一些应用上面是绝对重要的:当应用于电池驱动的产品中,无线应用,或者便携产品中,测量功耗则起到了至关重要的作用。PICOSTRAIN测量技术在测量功耗方面与经典的AD转换相比较则显示了非常大的优势 - 感谢这种革新的测量原理使我们受益。

在工业应用当中带有惠斯通电桥传感器的系统,根据欧姆定律, 在1kohm的应变电阻,5V工作状态下,需要5mA的功耗,或者3V的工作状态需要3mA的功耗。而一般来说应变电阻都是350欧姆,因此工作电流将会更加的高。

通过PICOSTRAIN测量原理应变传感器是通过放电时间来进行测量,因此这个测量是一个脉冲式的测量而不是持续的激励测量。电容首先通过传感器进行放电，然后电流将会在充电的时候流入电容,如图所示:

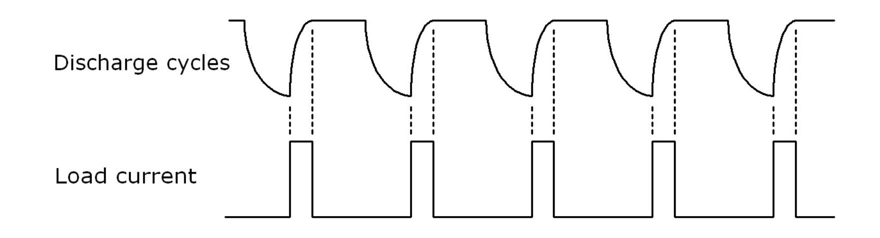


图. 11: 在电容充电时候的电流



另外,这样的顺序交错的测量可以让我们定义这个放电的测量是以持续的方式进行还是以一定时间间隔的方式(单一转换模式) 进行拉伸。换句话说,根据测量配置的不同,可以进一步节省功耗。其他可以降低功耗的方面如在比较器电路和晶振电路不用的时候可以将其关掉, 那么这样整体功耗比现有的传统测量方式可以降低很多倍。

PICOSTRAIN测量原理的测量功耗举例:

稳定显示分度:	应变灵敏度:	在 3V时的典型电流	Typ. Current @ 3V
5,000	1mV/V	1kOhm	40μA
10,000	1mV/V	1kOhm	180uA
10,000	1mV/V	350 Ohm	600uA
3,000 OIML	2mV/V	350 Ohm	180uA
200,000	2mV/V	350 Ohm	4.5mA

通过以上数据我们可以看出应用PICOSTRAIN测量原理的功耗是相当低的。例如3000 OIML 的应用中，PICOSTRAIN测量原理仅需要200uA的功耗，而一个传统方式的测量功耗则需要大约14mA, 根据所选的 A/D 转换器的不同，在这个情况测量的功耗降低了70倍!

3.3.1 自热现象

这个低的测量功耗对于整个测量来说会带来一个额外的益处，这个益处不应该被忽略掉 - 低的自热现象。一般来说我们都知道，传感器的自热现象是误差的一个来源，在最开始的10到15分钟的测量当中将会大大影响测量的零点误差。PICOSTRAIN 测量原理则降低了这种自热现象的产生。当然在最高精度的情况下，与其他的测量方法相比，PICOSTRAIN也会有最高的功耗。尽管如此在这个高精度测量模式中流入应变传感器的功耗仅为同样的电压情况下要比A/D转换器所需功耗的40%。也就是说在最大的电流消耗情况下，其自热现象比普通的数模电路要低5倍。在其它的省电低功耗的模式中这种自热现象可以更进一步的被消除(可以将其降低 >1000倍) 那么结果就是在实际应用当中不再有自热现象产生。

3.4 EMI 特性

对于现今衡器应用来说，电磁干扰(EMI)的问题是无处不在的。经常需要花费很多努力和时间来使整个系统满足对于EMI所规定的标准，另外需要很多尝试和努力来优化现有设计。从2010年开始OIML R76-1 (from 2006)[5]规定更加严格的电磁兼容性 (EMC)，由原来的3V/m提高到了现在的10V/m。因此对于满足OIML标准来说将会更加困难。

幸运的是在这个方面,数字传感器则发挥了其得天独厚的优势。由于数字传感器的构造以及特性使其相比较普通的传感器更加容易满足电磁兼容性的要求。比如,导线的整体长度要比一个普通传感器短很多,而且对于模拟信号的数字化是在传感器很近的地方所完成的。因此模拟信号的传输路径比较短,这将会大大降低电磁干扰的出现。

第二个优点就是数字传感器的外壳。当我们将电路的PCB放入到传感器的壳体之内(一般为铝制或者不锈钢制),实际上是对电磁干扰起到很好的屏蔽作用。换句话说,由于密封性很好,电磁干扰被大大的降低。

因为这种结构上的优势，使得整个数字传感器对于所要求的10 V/m (80 MHz 到 2 GHz)有相当强的免疫能力。这将会节省开发的时间和费用。请参见第 4 章节获得我们原型传感器最初的一些测试结果。

5 根据PTB的国际OIML标准推荐(Physikalisch-Technische Bundesanstalt, German National Metrology Institute in Braunschweig and Berlin).<http://www.ptb.de/en/org/1/11/112/_index.htm>, 2010年2月2日浏览。
OIML R 76-1, 非自动衡器度量学术以及技术要求，2006年版，下载于<http://www.oiml.org/publications/>, 2010年2月2日浏览。



3.5 商业方面考虑

最后我们来看一下出于商业方面考虑数字传感器的一些情况.在介绍当中,我们已经提到了, 现在的数字传感器还是一个特殊的产品, 由于其生产价格以及工序的复杂程度还不能够与模拟传感器相提并论。而且由于在自动化生产方面改变的可能性很小,使其造价不能够降低。

另一个因素就是现有电路的元器件过多所带来的成本问题。不仅需要至少两颗重要的元件(转换器+单片机) 而且还需要辅助元件如 EEPROM。元件清单(BOM)将会比较复杂,而且不容易被减少。

相对于现有的实现方法通过PICOSTRAIN测量原理我们可以获得更多的优势来降低整体成本,减少这种产品的独特性。在前面章节有细节的描述,比如工作流程将会被改变,温度标定将会更加容易,而且所需元件非常少,小的PCB体积使结构更加紧凑。这些因素以及这种高度自动化的生产方式给数字传感器的生产带到了一个前所未有的高度,可以大大降低生产成本,我们非常希望能够在这里给出具体的数字和一个例子,例如在每颗传感器上所需的花费以及由多少人工和机器的使用费用被降低。

当然我们这样的评估并不是非常严谨的,因为我们首先并不是传感器生产商,另外传感器制造生产的费用在不同的地区是有很大不同的。换句话说，这个开销主要取决于你的生产是在什么地方进行的，另外你希望自动化生产能够到什么样的程度。因此对于每一个生产的厂家来说所节约的开销的额度是不同的。我们希望在这里指出的是应用PICOSTRAIN方式可以节省开销以及工作量， 这个潜力是很大的， 主要取决于您对于这个潜力开发的深浅程度。





3.6 在标准衡器当中的数字传感器

如今数字传感器的应用还是仅限于特殊的应用中，如汽车衡，大型容器衡等。在普通的商业传感器比如案秤或者满足OIML的校准衡器中则并未使用很多。

但是在这些领域当中应用数字传感器还是有非常多的优势的，而且这些优势是应用普通模拟传感器所不能够实现的。那么一个这种新的衡器的结构如下所示：

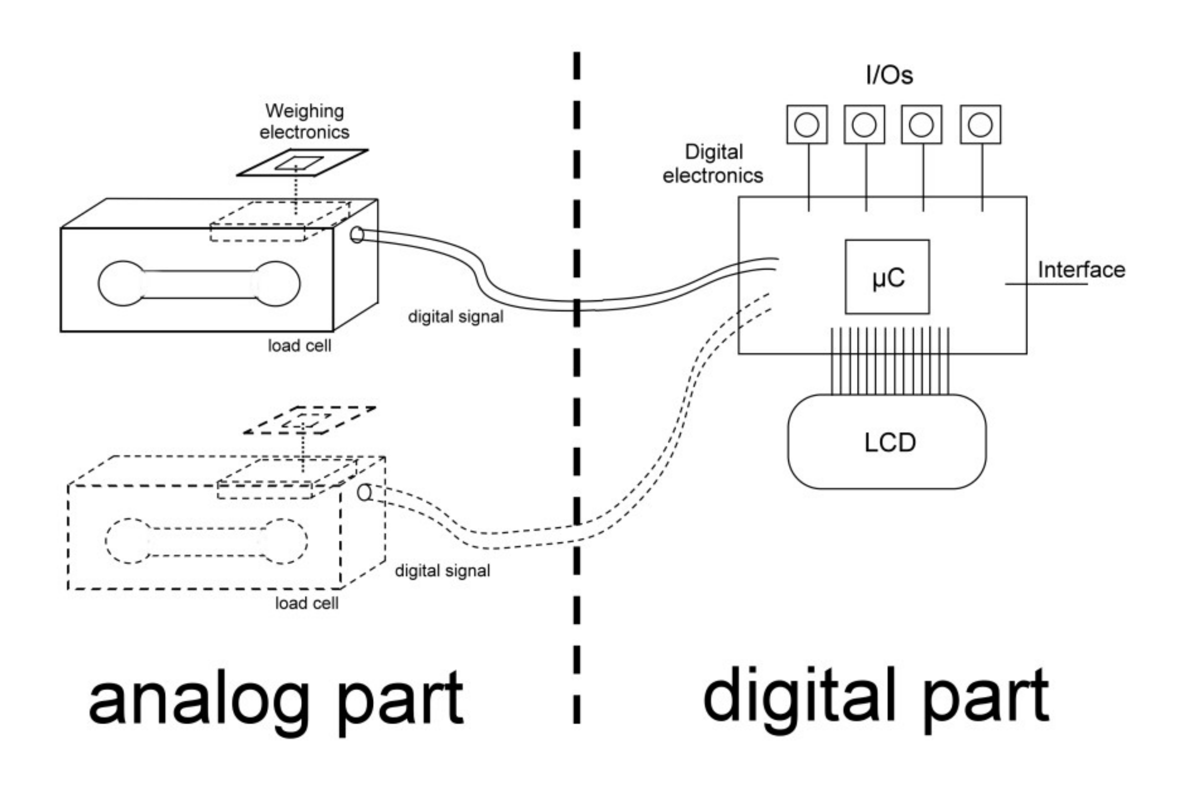


图 12：数字部分与模拟(称重）部分分开

在这个结构当中，衡器的模拟称重部分是与处理输入/输出的纯数字部分完全分开的。每一个部分需要满足的条件如下:



3. 通过PICOSTRAIN原理建立数字传感器的优势

高端模拟部分
- 包括了传感器以及电路处理部分
- 需要衡器的相关知识
- 输出为数字格式的结果
- 结果已经满足了线性，温度补偿等要求,
- 可以完全满足 OIML所规定的标准

纯数字部分
- 包括纯数字部分的PCB
- 处理输入/输出如按钮，LCD 等，以及数据的通讯接口
- 可以包括一些软件方面的东西 比如语言的识别等
- 无需任何衡器的相关知识

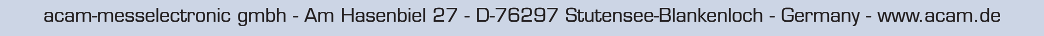
模拟部分包括了传感器和电路部分。所有与衡器称重相关的知识都集中在这一部分，比如实现好的传感器的结构，标定以及温度补偿等方面。输出的完全是数字信号，而且已经经过标定校准的衡器测量结果。



纯的数字部分则接受了来自模拟部分的数字信号，仅作为称重显示，按钮识别或者与其他仪器接口等作用（比如网络秤）。另外，可以实现语言或者国家地区的软件调节。实现数字部分不需要对于衡器本身的一些相关知识的了解。

或许您可以会问这样做又有什么益处? - 当然这样做可以获得很多的好处，比如:

- PCB可以根据不同的目的来进行设计。模拟部分的PCB一般来说是需要与数字部分相区别的。比如整体PCB需要 4 层板，而在这个情况下模拟部分需要 4 层板，而数字部分仅需要 2 层板
- 高端的模拟ＰＣＢ部分可以在很多其他的传感器当中应用。在不改变传感器的情况下可以自由改变衡器的设计。降低了开发所需的工作。
- 开发的工作可以由不同的人员来分别完成。设计数字部分的人员不需要对于衡器方面的知识进行深入的了解
- EMI电磁兼容性可以比较容易的被实现，　由于测量数据在很开始阶段就被数字化，另外由于测量电路是在传感器之内，传感器可以视为一个屏蔽的壳体，将会对电磁干扰起到很好的屏蔽作用



3. 通过PICOSTRAIN原理建立数字传感器的优势

连接数字与模拟两个部分的通信协议为简单的SPI通信协议。这种方式的应用非常广泛，而且大多数单片机都有这种通信方式，另外很容易连接。一般来说3－4米的线长对于这种协议来说是没有任何问题的，是对于绝大多数应用可以满足要求的。

作为总结，在这一章节的最后，我们看到通过PICOSTRAIN这种测量原理建立数字传感器不光在技术层面上可以获得很多益处，而且在商业方面可以获得更大的好处。这是一种通过非常少的努力建立高质量的数字传感器的方法。在其他的方面例如功耗，更好的EMI特性等优势将会给标准的衡器带来更多的增值。





4. 传感器原型

在2010年的第一季度，德国acam公司将会建立几颗应用PICOSTRAIN原理的数字传感器原型。那么目的是为了能够进一步验证是否与我们所预想的结果相同，而且这种方案的可行性，以及测量精度，温度特性，功耗等方面。因此我们用了一个标准的C3传感器（与PS081评估系统的传感器相同），尺寸为130x30x22mm。

在下面的章节当中我们将会描述我们如何来建立这样的原型，以及我们获得的测量结果。

4.1 设置

这个设置考虑到传感器，ＰＣＢ以及与电脑的连接。

传感器:

我们首先使用的传感器为仅带应变片的裸传感器，没有任何连接也没有盖胶。在这种情况下，我们可以自行进行连接。另外我们传感器生产商已经预留了放置电路部分的位置。这个裸的传感器如下图所示:

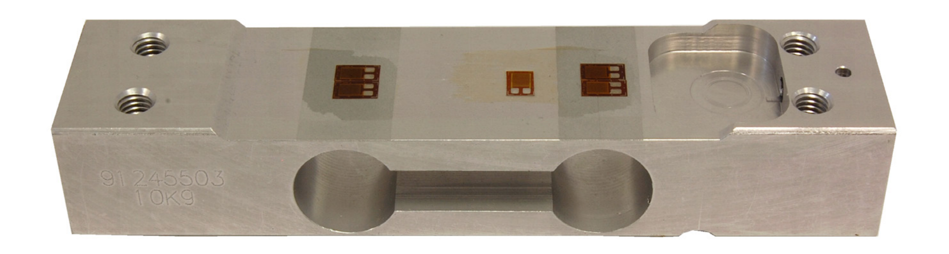


图. 13: 裸传感器, 应变片和Rspan的应用



4. 传感器原型

PCB:

第二步则是设计与预留位置大小相符合的小的PCB。传感器的放置电路的这一部分尺寸为26x20mm，但是为圆型边沿。因此我们设计的PCB大小为22x19mm可以很容易的放入其中。在这里PS081的单芯片方案发挥了非常大的优势：PCB的设计非常紧凑，仅需要很少一部分元器件。PCB为4层板。在上面的图中我们可以看到PCB放入传感器的图片，一个为未装配元器件的，一个为装配元器件的图片:

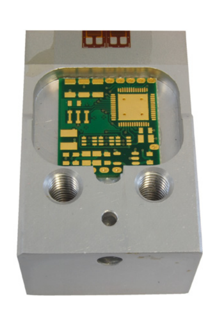




图. 14: 未装配/装配元件的 PCB 放入传感器预留的位置中

传感器& PCB:

在第三步当中,应变电阻根据PICOSTRAIN连接方式进行相应的连接。这意味着将传感器以2个半桥的方式连接到芯片上, 另外仅留一个Rspan温度补偿电阻(如图5所示)。在实际的生产当中如下图所示:



图. 15: 应变片和Rspan补偿电阻连接到测量PCB





4. 传感器原型

最终我们在传感器上盖胶来固定和密封整个传感器以及电路。我们最初选择了透明的硅胶以便可以清晰看到传感器内部电路连接。而之后我们再做的传感器将不会应用透明的硅胶，因此光线对于应变电阻的热作用也会增加整个测量的零点偏移。后面所记录的数据为非透明硅胶类型的数据。

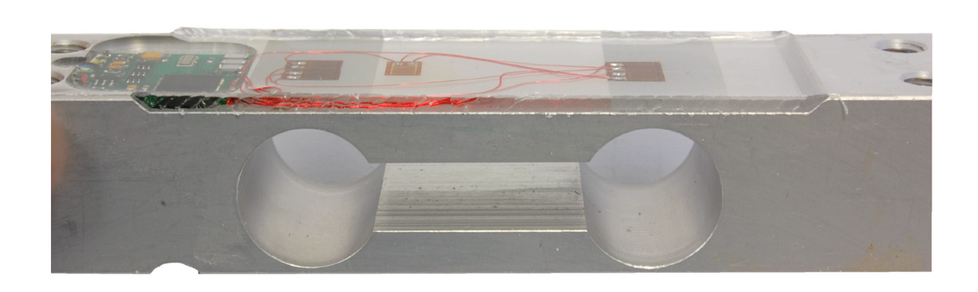
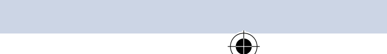


图. 16：透明硅胶封装应变片以及连接线

那么现在这个数字传感器原型可以准备进行测试了。为了从传感器中获得测量数据我们将其连接到电脑上。从数字传感器过来的数据以SPI通信协议进行传输，那么我们连接我们的PicoProg编成器 – 在我们评估系统当中已知的SPI编成器 – 到传感器的SPI接口。因此我们用标准的PicoProg然后进行一些修改来给数字传感器通过USB接口提供5V电压(在PCB上整压到3.6V)。通过这个方法，我们可以对数字传感器进行简单而且初步有效的测试。

4.2 噪声曲线以及稳定时间

数字传感器显示了非常好的测量精度以及很短的稳定时间。当然这两个数据主要与测量配置以及传感器本身的质量有关。我们应用的基本传感器模型为满足OIML3000，应变电阻为350ohm的传感器。所有下面的数据均在供电电压为3.6V情况下所获得。





4. 传感器原型

最佳的测量性能也就是噪声最小的情况是应用了高的平均率,持续测量模式以及median滤波情况下获得。下图显示了在3.6V电压情况下,配置为 **20万稳定分度** (几乎100万内码分度)的情况下所获得的噪声曲线:

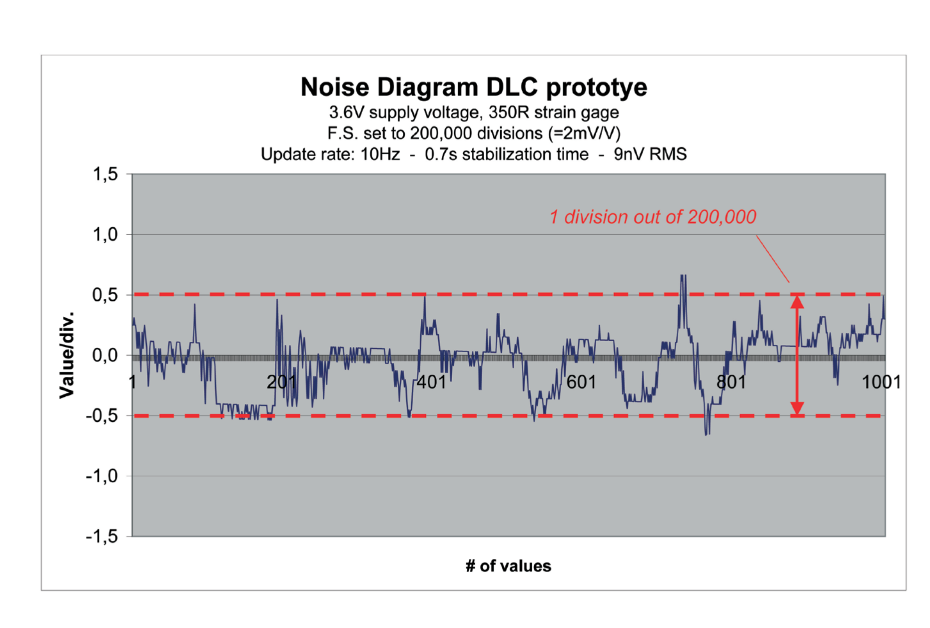


图. 17: 原型数字传感器的噪声曲线 (F.S. = 20万分度.)

红色虚线显示了20万分度中的一个分度的限制 (±0.5 = 1个分度. 峰-峰值)。这个限制有几次被突破, 但是尽管如此整体的测量 (1000次) 结果的噪声还是相当小的。用另一句话讲,20万分度的峰-峰值噪声并没有被完全满足,但是几乎可以满足。这个传感器原型可以比较轻松的实现15万的稳定显示分度。

作为比较: 为了能够给出一个20万稳定显示分度的具体意义, 我们来看一下OIML6000的规定。做为一个潜规则如果要实现OIML6000分度的话, 那么需要的峰峰值显示分度为3万 (5倍的系数)。那么也就是我们的数字传感器原型所实现的精度比OIML6000所需精度要高5-6倍!

响应时间:

当重量改变发生后到在LCD显示上重量数据改变所需要的时间被称为响应时间。这个时间与机械振动的响应时间不同,机械振动比电路部分一般需要较长的响应时间。一些参数如平均次数,输出频率,以及滤波的深度是影响响应时间的主要参



数,通过PICOSTRAIN测量原理你可以通过这些参数来调整输出的响应时间。在我们的原型当中我们尽量找到一个在好的测量精度下最短的响应时间的优化配置。 - 这个响应时间在 0.7 到 0.8 秒。更短的响应时间也可以被实现,但是测量的精度将会因此被降低。比如对于高端的OIML衡器来说，你只需要3万到6万分度的峰-峰值显示分度，而不是20万显示分度。那么在这个情况下你的电路的响应时间可以小于0.3秒。这个响应时间要比传感器的机械振动本身的响应时间小很多。

4.3 温度补偿结果

我们通过PICOSTRAIN的温度补偿方法来补偿传感器的温度特性,如前面章节2.1所述。为了能够看到传感器本身的偏移特性,我们首先在没有任何补偿情况下(仅Rspan本身做补偿)来看一下传感器的温度性能。在此之后,我们在确定了合适的TKGain和TKOff系数之后，通过PICOSTRAIN温度补偿方法再进行一次补偿后的测试。最终我们再进行一次验证试验来证实校正系数是否真正有效和可靠。下面的图表显示了通过PICOSTRAIN调整补偿后的结果与OIML6000分度相比较的结果:

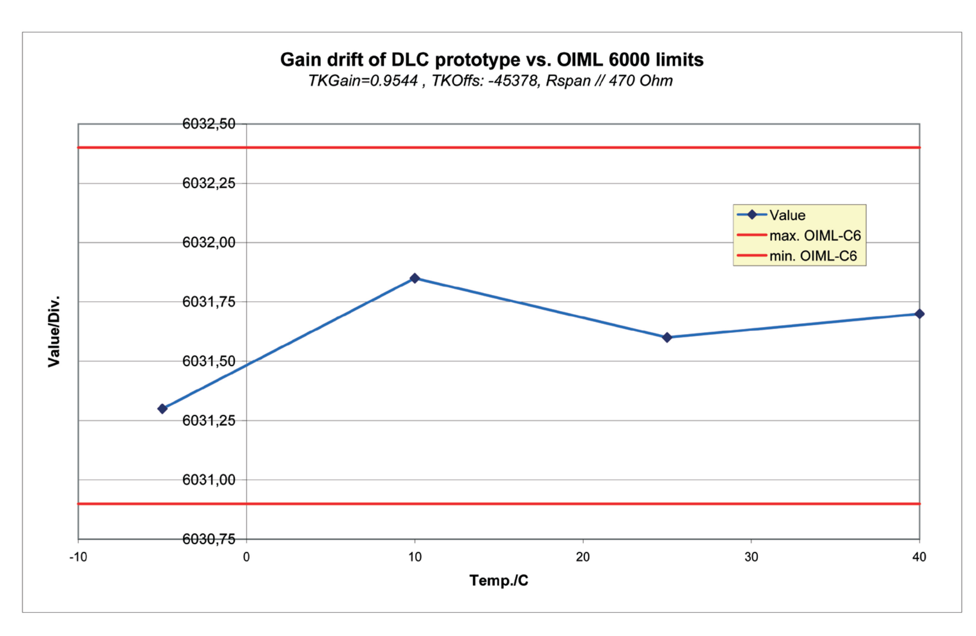


图. 18: PICOSTRAIN调整后传感器的温度增益误差 vs. OIML 6000 (数字传感器满足80%标准)

你可以看到，增益的温度偏移是完全满足OIML6000的标准的。

4. 传感器原型

在温度的offset偏移方面同样也满足，如下图：

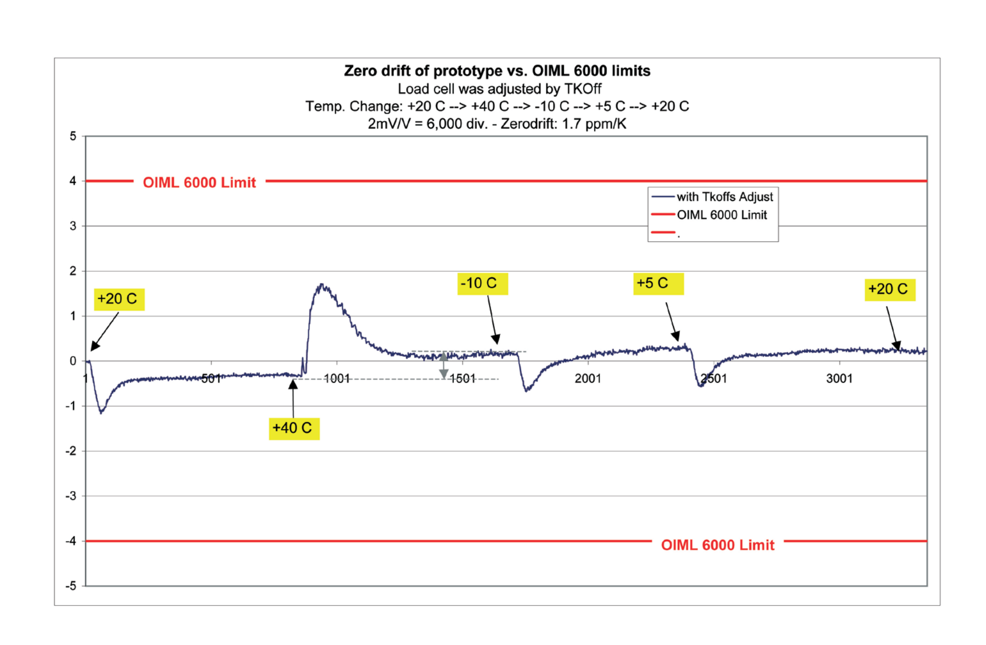


图. 19：通过PICOSTRAIN补偿后的零点偏移 vs. OIML 6000（数字传感器满足80%标准）

图中箭头所示为温度的改变。你可以看到在温度改变的情况下，需要一段很长的时间才能够使传感器稳定下来从回零点。针对于度量衡器标准要求比如OIML的要求，这个是没有问题的，因为在测量零点之前我们首先需要整个系统的稳定时间为至少2小时。也就是说我们所记录的零点并不是在稳定时间内的最大和最小值，而是在稳定时间之后零点值（上图18中灰色虚线的记录位置）。

就算我们以图中的最大最小值来进行计算的话，这些偏移也是完全满足OIML6000分度的标准的。作为比较我们在将补偿关闭的情况下又进行了测试，下面的图则显示了当没有用PICOSTRAIN补偿的时候的传感器的零点偏移。为了进行比较我们将两个曲线(带有/不带PICOSTRAIN补偿)画在同一图表中：





4. 传感器原型

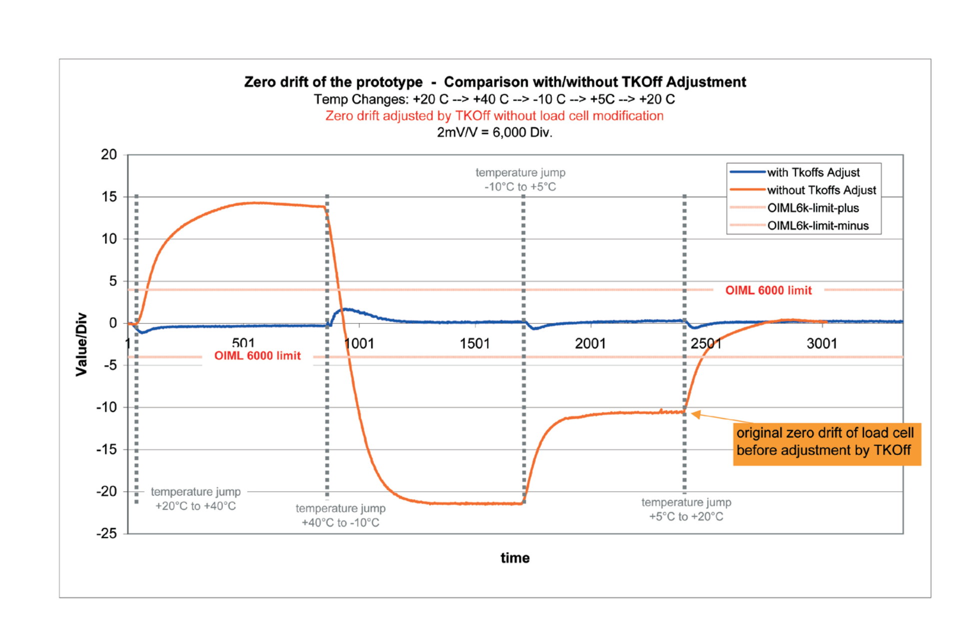




图. 20：带有PICOSTRAIN和不带PICOSTRAIN补偿的零点偏移结果

整个测量过程大概持续了4个小时。在这个时间内，有4次突然的温度变化，例如从 +20° C 到 +40° C 或者从 +40° C 到 -10° C，如图中灰色虚线的节点所示。当然整个传感器的单元将会根据温度的变化来反映，我们也看到了温度的零点偏移。橘色的曲线为在没有任何PICOSTRAIN校正的情况下获得的零点测量效果。可以很明显的看到，在这个情况下的零点偏移是很大的，大概为从+15 到 -22 个分度值。这个偏移是远远不能满足 OIML 6000 的标准，也就红色直线所示的标准。为了进行比较，我们同时将蓝色的校正后的测量结果也显示到图标当中。

很明显PICOSTRAIN校准后的传感器的温度特性是非常令人印象深刻的。增益误差和零点误差相比较原始的误差被降低了很多倍。

4.4 电流消耗

感谢PICOSTRAIN脉冲式的测量原理, 仅在测量的时候才会有电流消耗。不需要对桥臂进行持续的供电操作,这样可以使功耗大大的降低。

另外测量的功耗主要与所配置的精度以及稳定时间有很大关系。测量精度越低则测量所需的功耗就越低。应用数字传感器的原型我们进行了一些典型精度的配置,那么同时测量了其相应的功耗:

测量精度: [峰-峰 div.]	响应时间: [s]	电流消耗.: [mA]	注释:
200,000[1)]	0.7	5.30	最大精度
60,000[2)]	0.7	0.65	满足 OIML 6000
15,000[3)]	0.5	0.20	最小满足OIML 3000
5,000[3)]	1.0	0.07	低功耗应用

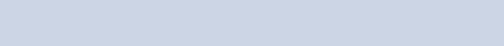
1) 持续测量模式 2) 单一转换模式 3) 拉伸stretched模式

请注意: 在PICOSTRAIN的芯片中是有不同的测量模式的。你可以选择持续测量模式或者定义在测量之间的停歇时间来进一步降低所需的测量工功耗。这个传感器原型的静态电流相对较高, 因为我们应用了一个线性的LDO电压调节元件,功耗大约为20μA。

4.5 测量接口

PICOSTRAIN产品的接口为SPI串行通信接口。这种全双工的串行总线协议为带有主机/从机的标准应用。一般来说一共需要4条线,它们是:

- SCK (串行时钟)
- SDI (串行数据输入)
- SDO (串行数据输出)
- CS/CSN (片选)







典型的时钟频率为1Mhz。细节的通信时序以及读写操作可以在PS081的用户手册[6]当中获得。一个SPI主机模式可以从多个从机上进行数据的收集。

应用这种通信协议可以允许数字传感器和另一部分进行双向的通信。在标准的衡器当中,可以非常容易的连接到在数字PCB部分上的单片机来进行数据的输入和输出。在较大的衡器上可以通过一个中央控制板的单片机来与多个数字传感器进行通信。

SPI接口可以在2-3米的情况下传输没有任何问题，可以直接应用这种协议。当然如果对于已经固定的通信协议（比如RS232）或者导线更加长的应用那么需要其它的通信协议来支持。有很多这种转换的芯片可以选择 (比如 SPI 到 RS232)或者应用一个简单的单片机也可以实现接口的转换功能。

请注意，大多数的应用当中通过SPI通信就完全可以满足需求，您可以评估一下是否真正有必要应用其它方式的通信协议。(比如一个标准的衡器，不需要RS232通信，除非在技术上有更好的理由，否则可以直接通过SPI接口操作)。

4.6 未来的选择

我们的第一个DLC原型的建立是为了了解应用PICOSTRAIN的测量原理是否可行,是否可以获得我们所想象的一些优点,或者还有什么问题需要解决。我们可以看到前面的章节中所提到的一些测试结果和调查的结果是不错的。尽管如此，还是有很多可以在将来需要优化的方面。

在这些优化方面中比如可以将一个全桥的传感器完全用半桥来代替。这个方式可以进一步节省2个应变传感器，那么可以降低生产的成本。对于PICOSTRAIN测量原理来说，连接一个半桥或者连接一个全桥是不会改变测量的质量的(与A/D 数模转换器不同)。下面的图片说明了这个变化：

6 PS081 数据手册(DB-PS081_CN)， 可以在网站 http://www.acam.de/download-section/picostrain上进行下载。



4. 传感器原型

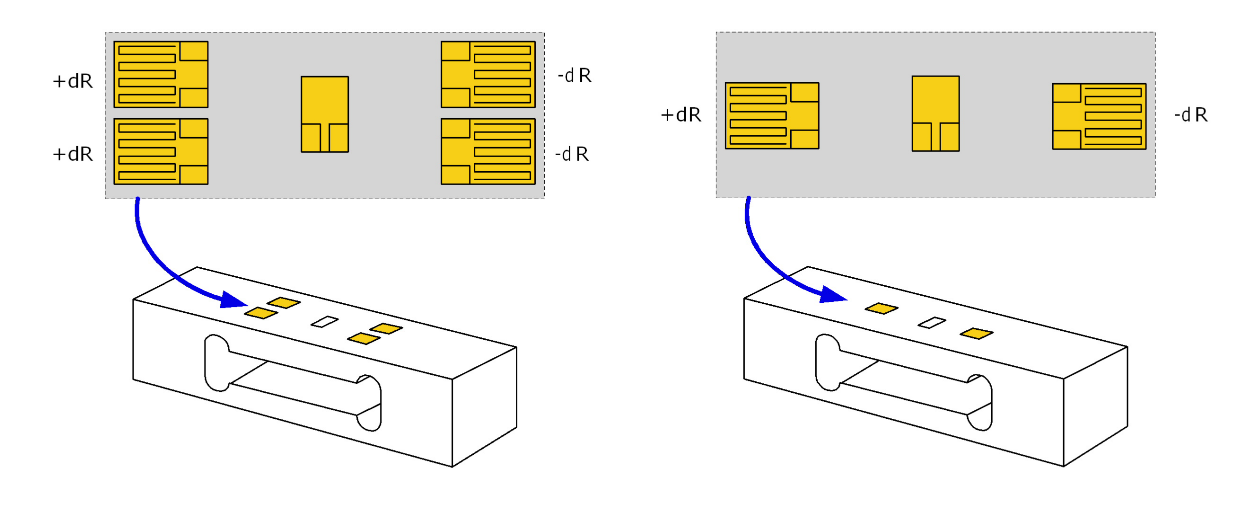


图. *21:* 作为新的测量方式从全桥变为半桥

另一个需要进行研究方面就是EMI电磁兼容性的测试。这个到目前为止还没有完成（2010年3月份），但是我们计划将会很快完成。 我们将会在没有任何保护的情况下进行电磁干扰的测试，然后加上一些保护电路再进行测试，看看具体电磁兼容性在两种情况下的结果。请联系acam公司来获取最新的EMI测试信息。

数字传感器原型的问题*:* 这个数字传感器原型目前仅存的问题就是较高的角差误差（由于重量位置的放置产生的误差）。因为PCB放置的地方开孔的位置影响到了传感器体的机械结构。在传感器体所受到的应力被影响，因此产生了较高的角差误差 (大约为1% 或者 1:100)。也就是说，重量需要每一次都放在完全相同的位置来获得相同的测量。否则，由于位置改变所引起的偏移是不能够被忽略的。在温度的增益测试中，我们考虑环境和重量的位置都是不变的情况。但是在未来的建立的原型当中，在这一点将会有明显改善。我们正在于我们的传感器生产商进行一些沟通来协调解决这个问题。 这个问题并不是由于电路本身引起，而是传感器的机械结构所产生的。



4.7 结论

数字传感器原型被成功的建立来进行一些测试和研究。这不仅仅证明了应用PICOSTRAIN测量原理可以建立数字传感器，而且还说明了应用这种革新测量原理可以带来更好的效果。 尤其在温度的增益和零点offset调整方面我们可以非常轻松的通过软件的调整将整个传感器补偿到完全满足OIML6000分度的标准。而且噪声可以控制在20万稳定显示分度，以及很短的响应时间，这个初步的测量结果还是相当令人满意的。









A. 附录

A.1 原理图

COMPANY: acam messelectronic GmbH

TITLE: PS081 Digital Strain Gauge

SIZE: A3 DRAWING NO: PS081_DSG_V2_05.sch REV: 1.1

SHEET: 1 OF 1

LTR	ECO NO:	APPROVED:	DATE:
1	1.1	RD	03.12.2009

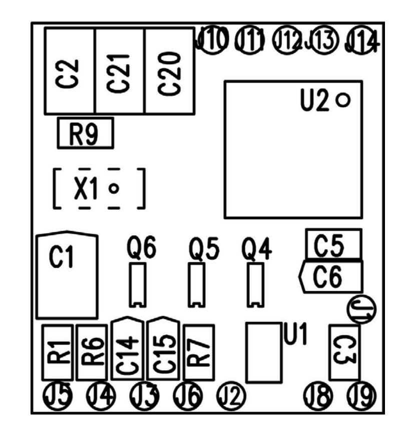
DRAWN: Robbie Dasia 03.12.2009

CHECKED: AB 05.12.2009

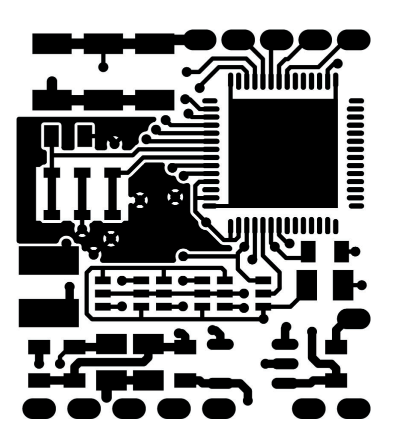
A. 附录

A.2 布线图

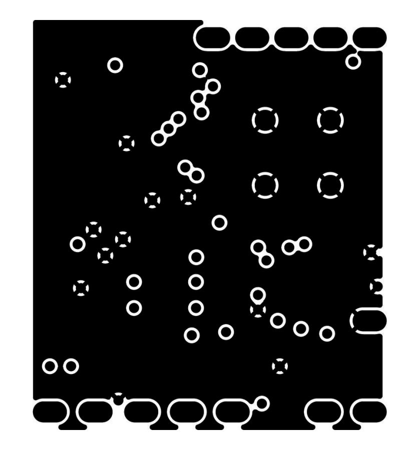
装配层顶端



顶层



地层

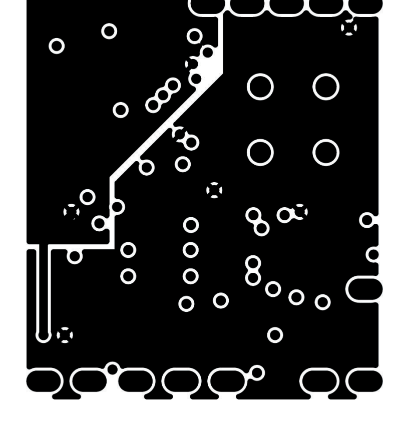




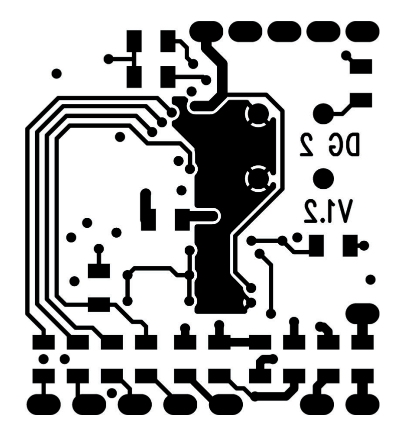


A. 附录

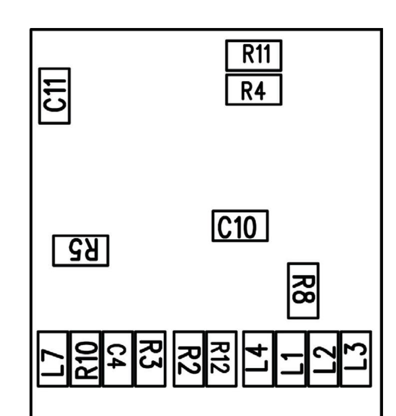
电源层



底层



装配层底端

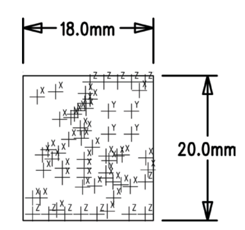








全尺寸



A.3 元件清单

Qty	Reference	Value	Part Name	Description
1	C4	100n	C603, 100n	CHIP-CAPACITOR
1	C3	10u	C603, 10u	CHIP-CAPACITOR
1	C5	3n3	C603, 3n3	CHIP-CAPACITOR
2	C10-11	4u7	C603, 4u7	CHIP-CAPACITOR
3	C2, C20-21	100n	C1206, 100n	CHIP-CAPACITOR
3	Q4-6		CMKT5087	Double PNP Transistor
5	L1-4, L7[1]			Ferrite
1	C1	220u	F95_B, 220u	Solid Tantalum
3	C6, C14-15	33u	F95_P, 33u	Solid Tantalum
1	U1		LT1761	100mA Low Noise LDO
1	U2		PS081/QFN56	PS081
1	X1	4MHz	Q/CSTCR_G, 4MHz	CERAMIC RESONATOR
1	R8	15k	R603, 15k	CHIP-RESISTOR
1	R9	1M	R603, 1M	CHIP-RESISTOR
1	R3	220k	R603, 220k	CHIP-RESISTOR
3	R1, R10, R12	22R	R603, 22R	CHIP-RESISTOR
2	R6-7	2R2	R603, 2R2	CHIP-RESISTOR
1	R5	3k3	R603, 3k3	CHIP-RESISTOR
1	R2	430k	R603, 430k	CHIP-RESISTOR
2	R4, R11[2]			CHIP-RESISTOR
1	J1		TESTPOINT2	PAD
12	J2-6 J8-14		TESTPOINT2	Testpoint 2mm

1 磁芯，铁氧体，需要低的DC电阻类型(例如 < 0.1R; ≥ 100R@100 MHz)
2 一般相对应于应变电阻来说这个电阻值







A. 附录

A.4 参考文献

数据手册

标题	文档-号码	时间
PS081-衡器系统单芯片方案用户手册	**DB_PS081_en V0.5**	**2010年1月**
PS081-EVA测量评估系统用户手册	DB_PS081_EVA V1.0	2009年9月
ALCS-350 V2传感器模拟器	DB_ALCS_V2 V0.1	2009年8月
PS081的PicoProg编程器使用指南	DB_PicoProg_081_en_V0.1	2010年1月

技术白皮书

标题	文档-号码	时间
如何通过PS081的TKGain和TKOffset系数降低传感器的Gain和Offset偏移	**WP002 V1.0**	**2008年10月**
建立太阳能电池板驱动电子秤的指导	WP001 V1.0	2008年6月

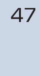
应用指南

标题	文档-号码	时间
确定PS081温度零点偏移和增益偏移的度量学术研究报告	AN018 V1.0	2008年7月
PICOSTRAIN原理的应变电阻连接方式	AN012 V1.0	2005年8月
RSPAN-BY-TEMP传感器增益误差温度补偿方法	AN021 V1.0	2009年7月
通过PS081进行太阳能厨房秤建立的指导	AN022 V1.1	2009年9月
对于太阳能人体秤设计的指导-PS081版本	AN023 V1.3	2009年9月

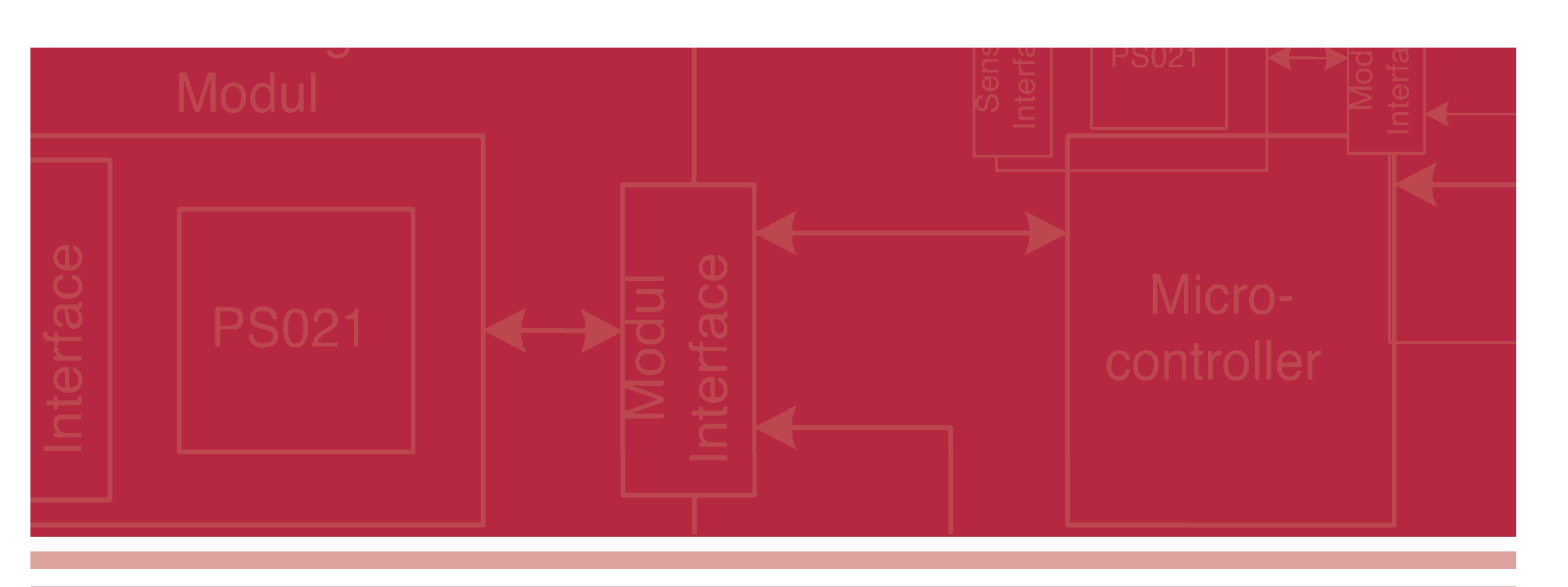
所有的文档可以在acam公司网站上下载：

http://www.acam.de/cn/download-section/picostrain









acam-messelectronic gmbh
Am Hasenbiel 27
76297 Stutensee-Blankenloch
Germany / Allemagne
ph. +49 7244 7419 - 0
fax +49 7244 7419 - 29
e-mail: support@acam.de
www.acam.de